

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 77 19020**

(54)

**Perfectionnements aux lasers.**

(51)

Classification internationale (Int. Cl.<sup>2</sup>). **H 01 S 3/10.**

(22)

Date de dépôt ..... **21 juin 1977, à 15 h 57 mn.**

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée en Suisse le 21 juin 1976, n. 7.885/76  
au nom du demandeur.*

(41)

Date de la mise à la disposition du  
public de la demande .....

**B.O.P.I. — «Listes» n. 3 du 20-1-1978.**

(71)

Déposant : **INSTITUT FÜR ANGEWANDTE PHYSIK DER UNIVERSITÄT BERN, résidant  
en Suisse.**

(72)

Invention de :

(73)

Titulaire : *idem* (71)

(74)

Mandataire : **Cabinet Plasseraud.**

L'invention est relative à un laser dont le milieu laser peut être solide, liquide ou gazeux.

Le terme laser s'applique ici aussi bien à un amplificateur laser qu'à un oscillateur laser ou à un générateur laser.

L'amplification, qui augmente avec l'énergie de pompage, d'un laser est limitée par diverses pertes. Des pertes se produisent notamment au cours des modes dits parasites (Flüstermoden, Whispering Modes ou encore Parasitic Modes) qui sont produits par émission spontanée de lumière dans le milieu laser, cette lumière étant réfléchiée par les surfaces délimitant le milieu laser et étant amplifiée au cours de son trajet dans le milieu laser. Ce mécanisme indésirable a pour effet de détruire l'inversion de population et de réduire l'amplification.

Pour éviter ces pertes on a l'habitude, dans les lasers à solide, de rendre rugueuse la surface latérale du barreau laser (c'est-à-dire la surface qui délimite le milieu laser) de telle manière que la rugosité, c'est-à-dire la profondeur de rugosité, soit de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière. De ce fait, aucune réflexion totale de lumière ne peut se produire sur la surface latérale. La lumière qui tombe sur cette surface latérale rugueuse subit cependant une réflexion diffuse, la majeure partie de la lumière revenant dans le milieu laser, ce qui entraîne de nouveau une destruction de l'inversion de population et, par conséquent, une diminution de l'amplification.

Pour assurer un découplage complet entre la lumière atteignant la surface latérale et le barreau et obtenir ainsi une amplification relativement élevée, on a proposé encore d'entourer le barreau d'un liquide dont l'indice de réfraction est égal à celui du barreau (procédé appelé Index Matching). Dans ces conditions on peut obtenir un découplage important et par conséquent une amplification élevée, mais seulement pour une égalisation précise des indices de réfraction, ce qui n'est en pratique qu'à peine réalisable du fait que le barreau laser est le siège d'un dégagement de chaleur et que les indices de réfraction dépendent de la température selon des lois différentes. De plus, il n'existe pas de liquides qui conviennent pour des barreaux laser d'indice de réfraction élevé.

L'invention vise à augmenter l'amplification d'un laser grâce à un découplage plus complet entre les modes parasites

et le milieu laser.

Ce résultat est obtenu, conformément à l'invention, par le fait qu'au moins une partie de la surface latérale délimitant le milieu laser présente des anfractuosités à surfaces lisses qui sont disposées de manière à éviter des réflexions totales du rayonnement de fluorescence propre. Ces anfractuosités sont de grandes dimensions par rapport à la longueur d'onde du rayonnement laser et, à la différence d'une surface rugueuse, elles présentent une structure géométrique bien définie.

Dans un laser à corps solide dont le milieu laser, par exemple un barreau, est constitué par un cristal, la délimitation du milieu laser est assurée par la surface extérieure du barreau. Dans un laser à gaz ou à liquide, dans lequel le gaz ou le liquide constituant le milieu laser est contenu dans un tube de matériau transparent (quartz, verre) la délimitation du milieu laser est assurée par la paroi intérieure du tube.

L'invention est expliquée plus en détail ci-après à l'aide de certains de ses modes de réalisation, pris à titre illustratif mais nullement limitatif, en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en perspective d'un amplificateur laser à barreau laser,

- la figure 2 est une coupe suivant la ligne II-II de la figure 1,

- la figure 3 représente les variations de l'amplification d'un amplificateur laser en fonction de l'énergie de pompage, pour un barreau usuel à surface lisse, pour un barreau usuel à surface rugueuse et pour le barreau de l'amplificateur laser des figures 1 et 2,

- la figure 4 représente des trajets de la lumière le long de la surface latérale d'un barreau laser usuel à surface lisse,

- la figure 5 représente des trajets de la lumière le long de la surface latérale du barreau laser de l'amplificateur laser des figures 1 et 2, et

- les figures 6a, 6b et 6c sont des coupes longitudinales d'autres modes de réalisation de barreaux lasers.

L'amplificateur laser représenté sur les figures 1 et 2 comporte un boîtier 1, présentant une cavité cylindrique 2, dont les surfaces d'extrémités sont délimitées par deux plaques 3 et 4. La surface intérieure 5 délimitant la cavité 2 de la partie 1 du boîtier est capable de réfléchir la lumière,

par exemple est constituée par une surface blanche ou polie.

5 Dans la cavité cylindrique 2, parallèlement à l'axe géométrique de celle-ci, sont disposés une lampe à éclair 6 en forme de barreau et un barreau laser 7, par exemple de rubis, de grenat d'yttrium-aluminium (YAG) dopé au néodyme, ou de verre. La lampe à éclair 6 et le barreau laser 7 sont maintenus, à l'aide de joints toriques 8, dans des trous filetés 9 à 12 des plaques 3 et 4. Dans chaque trou fileté 9 à 12 est vissée une douille filetée qui serre les joints toriques 8 contre des rebords annulaires 14, faisant saillie à l'intérieur des trous, des plaques 8 et 4.

10 Les électrodes 15 de la lampe à éclair 6 sont raccordées, au moyen de conducteurs 16 traversant les trous 9 et 10, à une source d'impulsions électriques (non représentée ici).

15 Des joints toriques 17 sont logés dans des rainures annulaires prévues dans les surfaces d'extrémités de la partie 1 du boîtier et assurent l'étanchéité aux liquides de la cavité 2. Cette cavité 2 est remplie d'un liquide de refroidissement, arrivant par un tuyau 18 et partant par un tuyau 19. Le liquide de refroidissement est un liquide à absorption lumineuse sélec-  
20 tive qui absorbe le rayonnement laser et qui laisse passer la partie de courtes longueurs d'ondes du spectre de la lampe à éclair 6.

A titre d'expérience illustrative on a construit un laser  
25 Nd-YAG. Le barreau laser 7 avait une longueur de 7,6 cm et un diamètre de 6 mm ; sa surface latérale présentait des rainures 20 de sections en forme de coins (au total 280 rainures) qui étaient dirigées perpendiculairement à l'axe du barreau laser 7, qui, vues en coupe, se raccordaient l'une à l'autre selon une  
30 ligne en zig-zag, et dont les coins présentaient des angles de 90°. La profondeur des rainures 20 était de 1/10 mm (sur les dessins, ces rainures ont été représentées fortement agrandies, pour être mieux visibles). Les extrémités du barreau laser 7 étaient lisses chacune sur une longueur de 3 mm et les surfaces d'extrémités 21,  
35 22 étaient optiquement polies et revêtues d'une couche anti-réflexion disposée par vaporisation. Les rainures 20 pourraient être polies optiquement et revêtues encore d'une couche anti-réflexion. Comme liquide de refroidissement absorbant on utilisait de l'eau distillée.

40 Au cours du fonctionnement de cet amplificateur laser, une

impulsion lumineuse produite par l'allumage de la lampe à éclair 6 est réfléchi sur la paroi 5 et est absorbée par le barreau laser 7, lequel est alors le siège d'une inversion de population. Une impulsion lumineuse 23 produite par exemple par un oscillateur laser (non représenté ici) traverse le trou 11, puis le barreau laser 7, dans lequel elle est amplifiée par l'inversion de population. L'impulsion lumineuse amplifiée 24 sort de l'amplificateur par le trou 12.

L'amplification  $G$  mesurée (amplificateur à faible signal) de l'amplificateur laser, représenté sur les figures 1 et 2 et équipé du barreau 7, est représentée sur la figure 3 par la courbe en trait plein a en fonction de l'énergie de pompage  $E$  (exprimée en Joules). La courbe en trait interrompu b et la courbe en trait mixte c représentent les variations de l'amplification lorsque le barreau 7 est remplacé par un barreau lisse usuel ou par un barreau rugueux usuel, tous deux de même longueur et de même diamètre que le barreau 7. Comme on le voit sur la figure 3, l'amplification  $G$  n'augmente avec l'énergie de pompage  $E$  que jusqu'à une limite de saturation déterminée. Cette saturation résulte de ce que le faible signal et surtout les modes parasites détruisent fortement l'inversion d'occupation. L'amplification maximale que l'on peut obtenir est de 1,5 pour le barreau lisse (courbe b) de 30 pour le barreau rugueux (courbe c) et de 72 pour le barreau 7 qui est muni d'anfractuosités à surfaces lisses (courbe a). Le barreau 7 permet, à toutes les énergies de pompage, d'obtenir une amplification plus grande qu'avec les barreaux usuels, et l'amplification maximale est de 2,4 fois supérieure à celle obtenue avec le barreau rugueux.

On va exposer maintenant d'une manière détaillée à l'aide des figures 4 et 5 la raison de cette augmentation d'amplification fournie par le barreau 7, en comparaison d'un barreau lisse 25. Au cours du pompage qui se produit dans le barreau laser 7 ou 25 (sous l'action des éclair 6 de lumière de la lampe 6), intervient le phénomène de fluorescence propre, c'est-à-dire que de la lumière est émise spontanément dans le barreau. Cette lumière, une fois atteinte une inversion de population, est amplifiée au cours de son trajet à travers le barreau 7 ou 25 et tombe, sous divers angles d'incidence, sur la surface extérieure du barreau. Sur les figures 4 et 5 on a désigné par 26, 27 et 28, trois rayons lumineux qui tombent sous divers angles d'incidence

sur la surface latérale du barreau lisse 25. Alors que le rayon 26 sort du barreau 25, les rayons 27 et 28, dont les angles d'incidence sont supérieurs à l'angle limite de réflexion totale (environ  $45^\circ$  à la surface de séparation Nd YAG -  $H_2O$ ), subissent une réflexion totale, traversent de nouveau le barreau 25, subissent une nouvelle réflexion totale et ainsi de suite. Au cours de leurs traversées du barreau 25 les rayons 27 et 28 sont amplifiés, c'est-à-dire qu'ils détruisent l'inversion de population. A l'extrémité du barreau également ces rayons sont en majeure partie réfléchis. Ce rayonnement de fluorescence plusieurs fois réfléchi totalement et amplifié, que l'on a représenté d'une manière simplifiée comme en optique géométrique est appelé modes parasites. La destruction de l'inversion de population par les modes parasites entraîne une diminution de l'amplification  $G$ . L'amplification, qui croît avec l'énergie de pompage  $E$ , des modes parasites entraîne donc finalement une limitation, par les modes parasites, de l'amplification maximale que l'on peut obtenir. Sur la figure 5 sont représentés trois rayons lumineux 26', 27', 28' qui circulent dans le barreau 7, dans le même sens que les rayons 26, 27, 28. Les angles d'incidence des rayons 26', 27', 28' sur la surface latérale, à profil en zig-zag, du barreau sont, pour les trois rayons, inférieurs à l'angle limite de réflexion totale, de sorte que les rayons 26', 27', 28' sont découplés d'avec le barreau 7 ; il ne se produit pas de modes parasites et, par conséquent, aucune destruction de l'inversion d'occupation, ce qui entraîne une amplification  $G$  nettement supérieure du barreau 7 par rapport à celle du barreau 25.

Le liquide de refroidissement, présentant une absorption sélective pour la lumière, absorbe les rayons 26', 27' et 28' sortant du barreau 7 et empêche toute possibilité de réflexion sur la paroi 5 qui ramènerait ces rayons dans le barreau 7.

Si à la place du barreau lisse 25 on utilise un barreau rugueux usuel, dont la profondeur de rugosité est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière, on peut évidemment éviter la réflexion totale, mais le rayonnement de fluorescence qui tombe sur la surface extérieure rugueuse est réfléchi d'une manière diffuse, la majeure partie du rayonnement étant renvoyée dans le barreau, dans lequel il est amplifié, ce qui affecte encore l'inversion de population et réduit l'amplification. Pour

un mode parasite caractéristique, qui contribue à la saturation de l'amplification, on a obtenu des taux de réflexion de 100% pour le barreau lisse, supérieurs à 50% pour un barreau rugueux et inférieurs à 10% pour le barreau 7. Pour diminuer encore le

5    taux de réflexion avec le barreau 7, on peut déposer par vaporisation un revêtement anti-réfléchissant sur la surface latérale du barreau 7, c'est-à-dire sur les rainures 20. Dans les variantes, représentées schématiquement sur les figures 6a, 6b et 6c, du barreau 7, qui a été désigné respectivement par 29, 30 et 31,

10    la surface latérale de celui-ci présente, au lieu des rainures 20 de section en forme de coin, d'angle au sommet de 90°, d'autres genres d'anfractuosités. Ces anfractuosités ont des dimensions de l'ordre de 1/10 mm et, pour être plus visibles, ont été fortement grossies. Les barreaux laser 29 à 31, comme le barreau

15    7, sont de forme cylindrique à surfaces d'extrémités (non représentées ici) normales à l'axe du barreau. Le barreau laser 29 (figure 6a) présente des rainures perpendiculaires à l'axe du barreau, qui se succèdent sans interruption, 32, 33, 34. Les angles au sommet des coins des rainures successives sont dif-

20    férents l'un de l'autre. Dans le barreau laser 30 (figure 6b) les anfractuosités sont constituées par des rainures 35, perpendiculaires à l'axe du barreau, qui, vues en coupe, se raccordent l'une à l'autre en formant une ondulation. La section droite de ces rainures, au lieu de former une ondulation à sommets et creux

25    arrondis, peut présenter la forme d'une ligne polygonale. Le barreau laser 31 (figure 6c) porte une rainure hélicoïdale 36, à la manière d'un filetage. Les rainures 32, 33, 34, 35 et 36 peuvent s'étendre sur toute la longueur de la surface latérale du barreau cylindrique 29, 30, 31, ou les parties terminales des

30    barreaux 29, 30, 31 peuvent être réalisées sous forme lisse.

Pour éviter toute auto-oscillation entre les surfaces d'extrémités du barreau laser, dans le cas d'énergie de pompage très élevée, les surfaces d'extrémité sont avantageusement revêtues d'une couche anti-réfléchissante et sont inclinées de 3

35    à 5° par rapport au plan normal à l'axe du barreau cylindrique. Le milieu laser n'est pas obligatoirement constitué par un corps solide ; il peut au contraire être gazeux ou liquide. Dans ce cas, à la place du barreau laser 7, 29 à 31, on utilise un tube de quartz ou de verre renfermant le milieu laser fluide. Les

40    surfaces latérales intérieure et extérieure de ce tube peuvent

alors être munies chacune d'anfractuosités analogues aux rainures 20 ou 32, 33, ou aux ramures 35, ou au filetage 36.

5 Comme il va de soi, et comme il résulte d'ailleurs déjà de ce qui précède, l'invention ne se limite nullement à ceux de ses modes d'application et de réalisation qui ont été plus particulièrement envisagés; elle en embrasse, au contraire, toutes les variantes.

moins une partie des rainures (32, 33, 34) présentent des angles au sommet différents.

5 10. Laser selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les anfractuosités sont constituées par des rainures (35) de profil ondulé, perpendiculaires à l'axe du rayonnement laser.

11. Laser selon la revendication 1, caractérisé en ce que la surface qui délimite le milieu laser est recouverte d'un revêtement antiréfléchissant.

10 12. Laser selon l'une quelconque des revendications 1 à 11 caractérisé en ce que les surfaces d'extrémités du milieu laser sont inclinées par rapport à des plans normaux à la direction du rayonnement laser, de préférence d'un angle de l'ordre de 3 à 5°.

15

2356296

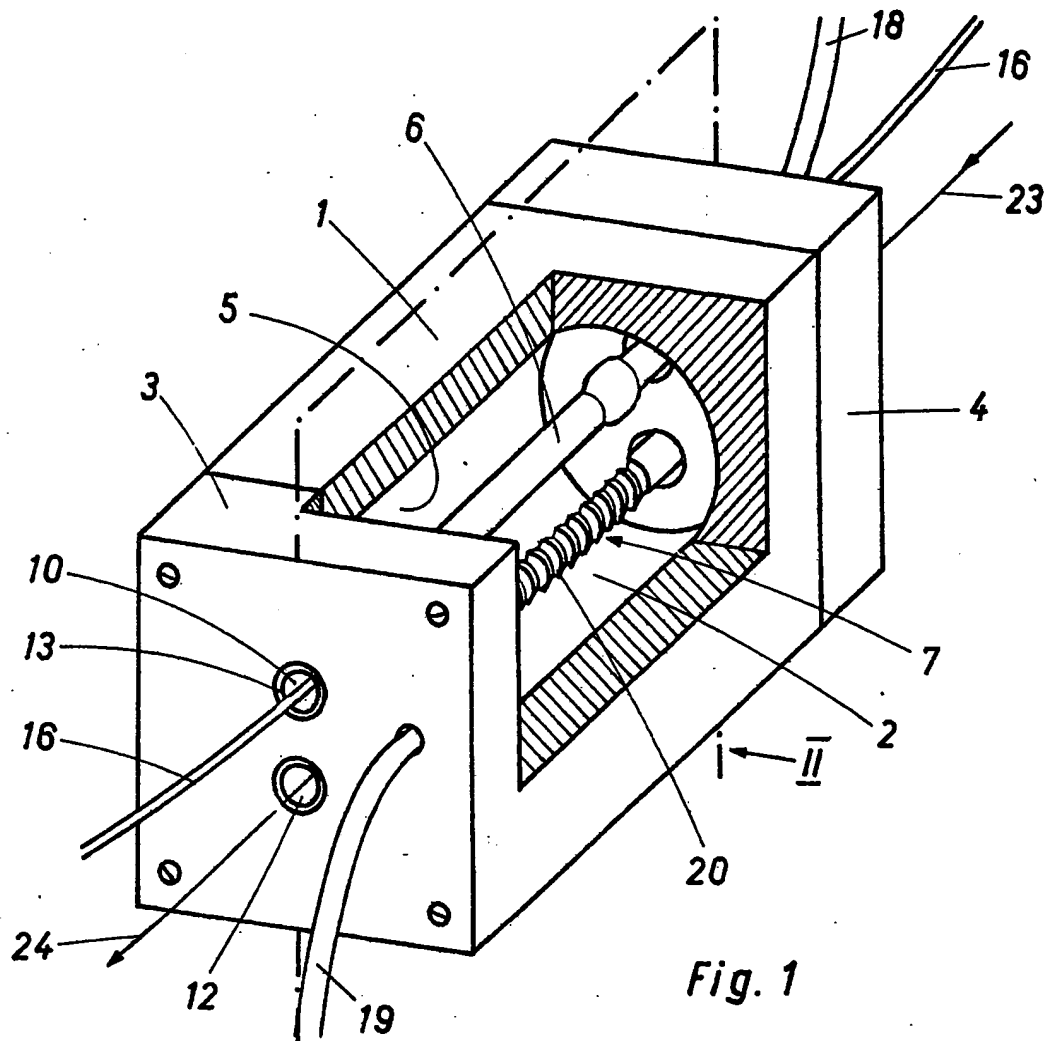


Fig. 1

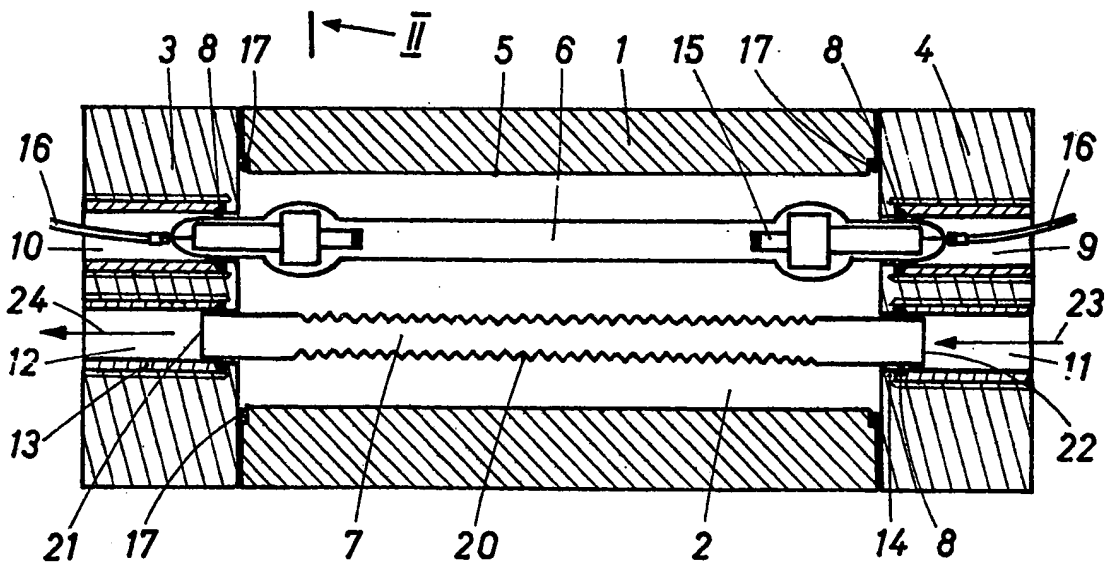


Fig. 2

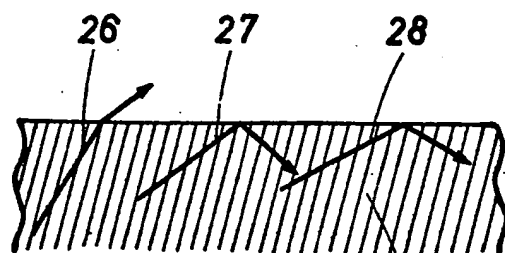


Fig. 4

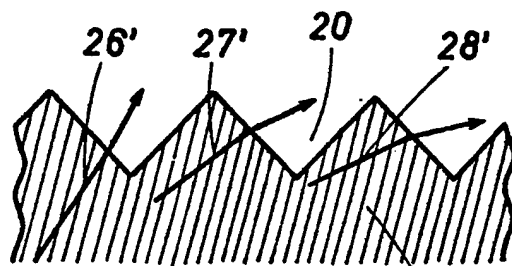


Fig. 5

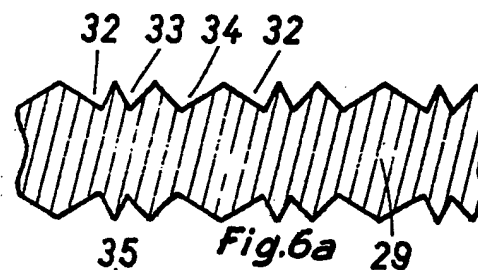


Fig. 6a

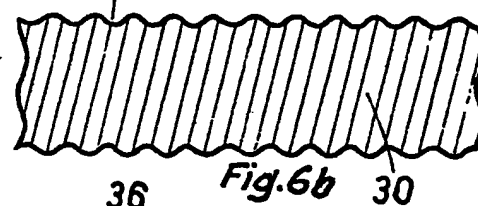


Fig. 6b



Fig. 6c

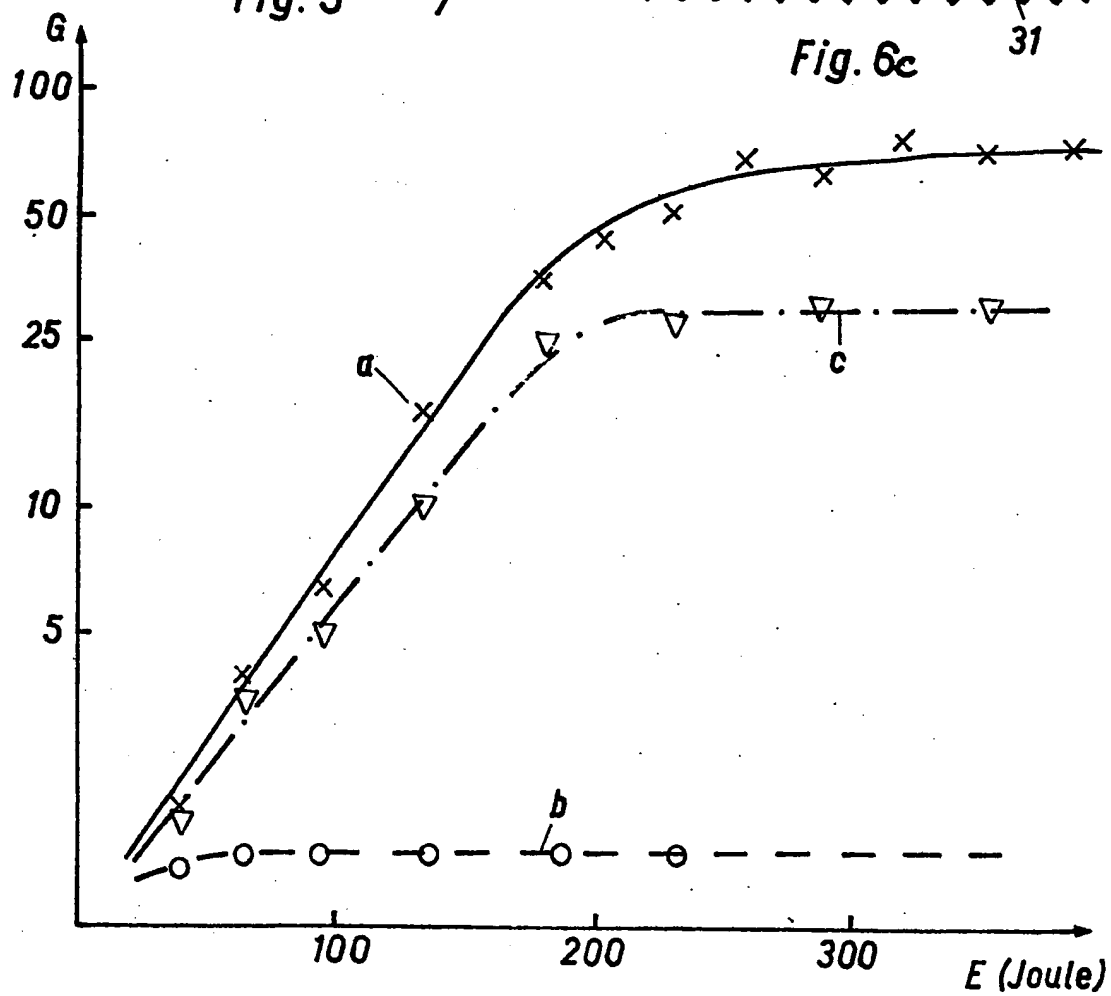


Fig. 3